

Aus dem Strahleninstitut - Poliklinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Heinz Oeser

Röntgenologische und chemisch-analytische Bestimmung
des Mineral- und Calciumgehaltes im Knochen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

1964

vorgelegt von
Peter Strug
aus Berlin

Aus dem Strahleninstitut-²Klinik der Freien Universität Berlin
im Städtischen Krankenhaus Westend.

Direktor: Professor Dr.med. Heinz Oeser.

Röntgenologische und chemisch-analytische Bestimmung
des Mineral- und Calciumgehaltes im Knochen.

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.

vorgelegt von

Peter Strug

aus Berlin.

Dekan : Professor Dr.med.Hugo Gasteiger
Referent : Priv.Doiz.Dr.med.Dr.rer.nat.Ernst Krokowski
Korreferent : Priv.Doiz.Dr.med. H.J. Dulce



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Freien Universität Berlin.
Promoviert am: 30. Juli 1964

Röntgenologische und chemisch-analytische Bestimmung
des Mineral- und Calciumgehaltes im Knochen.

- A. Einleitung.
- B. Einführung in die Morphologie und
Chemie des menschlichen Knochens.
- C. Röntgenologische Untersuchungsmethoden
anderer Autoren zur Bestimmung des Apatitgehaltes
des Knochens.
- D. Theorie der angewandten Methode.
- E. Praktische Durchführung der
röntgenologischen Untersuchungen ⁺⁾ .
- F. Chemisch-analytische Untersuchungen ⁺⁾ .
- G. Ergebnisse ⁺⁾ .
- H. Diskussion.
- J. Zusammenfassung.
- K. Literaturzusammenstellung.
- L. Danksagung.
- M. Lebenslauf.

⁺⁾ Eigene Untersuchungen.

A. Einleitung.

- - - - -

Im Rahmen der Arbeiten am Strahleninstitut der Freien Universität Berlin über die röntgenologische Bestimmung des Apatitgehaltes des menschlichen Knochens habe ich das von Krokowski angegebene Verfahren durch chemische Analysen zu eichen. Es soll dabei die röntgenologische Methode zur Bestimmung des relativen Apatitgehaltes von menschlichen Knochen angewendet und mit Hilfe einer chemischen Analyse der röntgenologisch ermittelte Relativwert in ein absolutes Maß überführt werden.

B. Einführung in die Chemie und Morphologie

des menschlichen Knochens.

- - - - -

Der menschliche Knochen ist das an Mineralstoffen reichste Gewebe. Er setzt sich aus einer organischen Grundsubstanz zusammen und darin eingelagerten anorganischen Salzen (Knochenhartsubstanz) und Wasser. Kollagene Fasern machen neben geringen Mengen anderer Eiweißkörper den größten Teil der Grundsubstanz aus. Die Knochenasche besteht hauptsächlich aus Hydroxylapatit, dem grob folgende Zusammensetzung zukommt: $\left\{ \text{Ca} \left[\text{Ca}_3 \left(\text{PO}_4 \right)_2 \right]_3 \right\}^{++} \cdot 2 \text{OH}$. In diesem Gitter sind teilweise F^- und CO_3^{--} isomorph substituiert.

Im einzelnen enthält das Knochenmineral folgende Bestandteile:

Kationen	%	Anionen	%
Ca^{++}	36,7	PO_4^{---}	50,1
Mg^{++}	0,6	CO_3^{--}	7,6
Na^+	0,8	Cl^-	0,04
K^+	0,15	F^-	0,05
		H_2O	2,33

Die Calciumsalze (Apatit) sind auch nach Abschluß des Wachstums nicht im Knochen fixiert, sondern befinden sich in einem dauernden Auf- und Abbau. So büßen z.B. die Knochen beim Hungern einen Teil ihres Kalkbestandes ein, desgleichen, wenn sie längere Zeit keine Stützfunktion ausüben, z.B. bei Ruhigstellung im Gipsverband. Außer diesen exogenen Einflüssen können auch Schwankungen des Mineralgehaltes durch Störungen des endokrinen Systems auftreten, wobei man histologisch eine Osteoblasten-Osteoporose (verminderte Osteoblastentätigkeit) von einer Osteoklasten-Osteoporose (verstärkte Osteoklastentätigkeit) unterscheidet. Morphologisch trennt man von der Osteoporose die Osteomalacie ab. Bei der Osteomalacie ist die Bildung der organischen Grundsubstanz nicht beeinträchtigt, jedoch werden die Kalksalze vom Osteoid, das meist im Überschuß vorhanden ist, nicht ausreichend eingelagert, wogegen beim Morbus Recklinghausen z.B. ("fibröse Osteodystrophie") die Knochenveränderungen wahrscheinlich vor allem durch

eine vermehrte Freisetzung von Calcium und Phosphor auftreten. Auch verschiedene Tumoren, so die osteoklastischen Carcinome, bewirken einen Abbau der Knochensubstanz mit eventuell nachfolgender Spontanfraktur.

Allgemein definiert spricht man von einer Osteoporose, wenn ein Schwund der Knochenmasse (Hartschubstanz) zugunsten der Markräume auftritt und stellt die Osteoporose der Osteosklerose mit Verdichtung des spongiösen Knochens gegenüber. Klinisch stehen jedoch die calcipenischen Osteopathien (Osteoporen) im Vordergrund, da vorallem sie Beschwerden verursachen. Deshalb ist man auch bemüht, mit geeigneten Methoden die Osteoporose röntgenologisch sicher zu erfassen. Hierbei interessiert in erster Linie die Wirbelsäule, da bei osteoporotischen Erkrankungen zuerst Beschwerden seitens der Wirbelsäule in Erscheinung treten.

Um die röntgenologisch gestellte Diagnose Osteoporose zu sichern bzw. zu absoluten Werten zu bringen, bemüht man sich seit langem. An dieser Stelle sei auf die folgenden Untersucher hingewiesen:

Stein (1937), Steven (1947), Bywaters, Henny (1948/49), Babaiantz (1948), Trapp (1949), Jackson (1951), Fusi (1952), Mc Farland (1954), Gershon-Cohen (1955), Balz und Birkner (1956), Mainland (1956), Virtama (1957), Vose (1958).

Keane, Spiegler und Davis (1959), Krokowski (1959),
Krokowski und Schlungbaum (1959), Frommhold und Schoknecht
(1959), Heuck und Schmidt (1960), Györgyi und Bozòky (1961).
Sehr viele Methoden sind aus materiellen oder zeitraubenden
Gründen der Diagnostik in Krankenhäusern verschlossen.

Als besonders geeignet und praktisch anwendbar erwiesen sich:

I. Die Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung.

Balz und Birkner (1956)

Keane, Spiegler und Davis (1959)

Heuck und Schmidt (1960)

II. Quantitative Absorptionsmessung.

Vose (1958)

Györgyi und Bozòky (1961)

Frommhold und Schoknecht (1959)

III. Vergleichende Absorptionsmessung mit Röntgenstrahlen

~ 50 kV : 250 kV.

Krokowski (1959).

C. Röntgenologische Untersuchungsmethoden anderer

Autoren zur Bestimmung des Apatitgehaltes des Knochens.

I. Methode der vergleichenden Schwärzungsmessung.

Bei diesem Untersuchungsverfahren vergleicht man die Filmschwärzung des zu untersuchenden Knochenbezirktes mit der Schwärzung einer graduierten knochenähnlichen Substanz (Elfenbein, Tierknochen, Hydroxylapatit, Aluminium u.a.). Um den Calciumgehalt eines Knochens bzw. eine Veränderung desselben festzustellen, nahmen Balz und Birkner in zwei verschiedenen Kammern den zu untersuchenden Knochen zusammen mit einer Aluminiumtreppe auf. Sie wählten den Fingerknochen als Untersuchungsobjekt. Dieser wird in einer mit Wasser gefüllten Kammer röntgenologisch aufgenommen, um durch das Wasser ein den Weichteilen entsprechendes Streuvolumen zu erhalten und um eine jeweils definierbare, standardisierte Weichteilschicht zu durchstrahlen. In der zweiten Kammer befindet sich die Aluminiumtreppe, vorn und hinten von Wasser umgeben, wobei die Wasserschicht die Weichteilschicht ersetzen soll. Weichteil und Wasser bewirken eine praktisch gleich grosse Schwächung der Röntgenstrahlen bei den verwendeten Spannungen um 50 kV. Nur bestimmt man an einer markierten Knochenstelle die Schwärzung auf dem Röntgenfilm und sucht anschließend auf der Aufnahme der Aluminiumtreppe die

Stelle auf, die dieselbe Schwärzung aufweist. Diesen Schwärzungswert bezeichnen Balz und Birkner als Aluminiumschwächungsgleichwert, der in Relation zum Gehalt des Knochens an Hartsubstanz steht.

Wenn auch die wahre Knochendichte, also ein Absolutwert, auf diese Weise nicht ermittelt werden kann, so läßt sich doch eine Änderung der Hartsubstanz bzw. Dichte der Fingerknochen leicht feststellen, zumal auch eine Aluminiumtreppe als Vergleichskörper überall herzustellen ist. Auf die Wirbelsäule kann die verwendete Versuchsanordnung z.B. wegen der teilweise verwendeten niedrigen kV-Zahlen und des störenden Weichteilmantels nicht übertragen werden.

Heuck und Schmidt wählten als knochenähnliches Referenzsystem Hydroxylapatit und nahmen den Schenkelhals des Femur und den Calcaneus als Untersuchungsobjekt. Beide Knochen lassen sich leicht röntgenologisch in zwei Ebenen aufnehmen und lassen gut das Gesamtvolumen eines Knochenabschnittes berechnen. Heuck und Schmidt nehmen also ebenfalls mit dem zu untersuchenden Knochen einen Vergleichskörper auf. Dieser ist nötig, um, ähnlich wie bei Balz und Birkner, mittelbar aus den Schwärzungswerten des Röntgenbildes auf den Kalkgehalt des abgebildeten Knochens zu schliessen. Als Vergleichskörper nehmen sie eine zweiteilige Hydroxylapatittreppe auf, die Calcium und Phosphor in derselben Menge enthält wie der menschliche Knochen. Diese Apatittreppe (Phantom) ist in zwei Hälften

aufgeteilt. Jede Hälfte hat einen chemisch-analytisch bestimmten, verschiedenen Gehalt an Apatit. Die Menge ist in mg/ml seitlich an der Treppe vermerkt. Dieses Phantom wird nun mit dem zu untersuchenden Knochen unmittelbar daneben, d.h. beim Femurhals unter der Muskulatur, aufgenommen. Der Weichteilschatten auf dem Röntgenbild überlagert also gleichzeitig Treppe und Knochen. Nachdem nun der betreffende Knochen mit der Treppe in zwei Ebenen aufgenommen ist, wird aus diesen zwei Aufnahmen die Dicke des Knochens errechnet. Anschließend wird mit einem Photometer die röntgenologische Schwärzung gemessen und daraus rechnerisch der Hydroxylapatitgehalt bestimmt.

Die Heuck'sche Methode ist bei Knochen, deren Dicke sich annähernd genau bestimmen läßt, technisch verhältnismäßig einfach, zumal sich auch die Apatittreppe als Vergleichskörper jederzeit reproduzieren läßt bzw. bereits fabrikmässig hergestellt wird. Bei der Methode von Heuck erhält man absolute Werte, die durch chemisch-analytische Untersuchungen gesichert sind, wobei man eine Differenz von $\pm 10\%$ zwischen dem röntgenologischen und chemisch-analytisch bestimmtem Apatitgehalt berücksichtigen muß.

Spiegler und Mitarbeiter nahmen Phalangen, Radius und Calcaneus als Untersuchungsobjekt. Der störende Einfluß des den Knochen umgebenden Weichteilmantels wird derart ausgeschaltet, daß der zu untersuchende Knochen in ein mit Wasser gefülltes Aquarium getaucht wird, das als standardisierter

Weichteilmantel für gleiche Untersuchungen zu wirken hat.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Streustrahlen auf die Filmschwärzung bei filmnaher und filmferner Lage eines Phantoms in dem aus Wasser bestehenden Streukörper (Aquarium) fand Spiegler Unterschiede der Filmschwärzung, die sich mit zunehmendem Abstand des Films von dem Aquarium verringerten.

II. Quantitative Absorptionsmessung.

Mit geeigneten Densitometern (Helligkeitsmessern) kann direkt die Schwächung von Röntgenstrahlen im Knochen gemessen werden. Die Meßwerte erlauben Rückschlüsse auf den Mineralgehalt des untersuchten Knochenbezirkes. Zuerst Vose (1958), später Györgyi und Bozòky (1960/61) verwendeten diese quantitative Absorptionsmessung und untersuchten mit seitlichem Strahlengang den distalen Femurkondylus.

Das Verfahren der quantitativen Absorptionsmessung wenden ebenfalls Frommhold und Schoknecht an und beurteilen den Gehalt an Hartsubstanz eines Knochens durch direkte Schwächungsmessung, wobei sich hier der Fingerknochen als geeignetes Untersuchungsobjekt erwies. Sie berücksichtigen dabei besonders den strukturellen Aufbau des Knochens in Kompakta und Spongiosa. Der Patient legt die zu untersuchende Hand mit etwas gespreizten Fingern auf die Objektplatte des Röntgengerätes. Mit Hilfe eines Synchronmotors werden nun die einzelnen Finger nacheinander in etwa drei Minuten durch den von oben kommenden monochromatischen Röntgenstrahl gezogen.

Während dieser Zeit zeichnet ein Tintenschreiber, entsprechend der Absorption der Strahlen, eine sog. Absorptionskurve auf. Die Strahlen treffen also nacheinander Weichteil, Kortikalis, Spongiosa und wiederum Kortikalis und Weichteil. Aus diesen Absorptionskurven, in denen der Einfluß durch die verschiedene Strahlenabsorption von Kompakta, Spongiosa und Weichteilgewebe eingeht, lassen sich genaue Rückschlüsse über die Feinstruktur und letztlich den Gehalt des Knochens an Hartschubstanz ziehen.

Frommhold und Schoknecht bringen monochromatische Röntgenstrahlen zur Anwendung, die eine Spezialapparatur voraussetzen. Die benutzte Röhrenspannung von ~ 17 kV begrenzt die Verwendung vorerst auf distale dünne Skelettabschnitte (z.B. Fingerknochen). Die Methode hat jedoch den Vorteil, daß kein Röntgenfilm verwendet wird, wodurch z.B. Aufnahmefehler durch Qualitätsschwankungen des Films und Entwicklungsfehler in Wegfall kommen.

D. Theorie der angewendeten Methode.

Eine von den vorher beschriebenen Verfahren weitgehend abweichende Methode, nämlich die

vergleichende Absorptionsmessung,
entwickelte Krokowski.

Die theoretischen Überlegungen und ihre praktische Durchführung will ich im folgenden näher erläutern, da wir nach

dieser Methode den K-Faktor röntgenologisch und anschließend chemisch-analytisch bestimmten.

Treffen Röntgenstrahlen Körpergewebe, so tritt je nach der Dicke, Dichte und Ordnungszahl des Körpers sowie der angelegten Spannung eine Schwächung der Strahlen auf, die sich in Schwärzungsdifferenzen auf dem Röntgenfilm zeigt.

Einer der wichtigsten Faktoren ist die Ordnungszahl, deren Einfluß mit zunehmender Spannung (Hartstrahlbereich) abnimmt. Bei einer Röhrenspannung oberhalb 250 kV spielt dann schließlich die Ordnungszahl keine Rolle mehr. Dieser Wechsel ist mit dem Übergang vom Photo- zum Comptoneffekt beim Auftreffen von Röntgenstrahlen auf Materie zu erklären, d.h. also, daß bei 250 kV die Schwächung nur noch von Dichte und Dicke des durchstrahlten Körpers abhängig ist.

Wählt man folglich eine genügende Spannungsdifferenz einmal von 50-60 kV und andererseits 250 kV, so muß sich bei demselben Objekt die Ordnungszahl deutlich herausheben (Dicke und Dichte bleiben gleich). Vergleicht man also die Schwächung von Röntgenstrahlen im Weichteilgewebe und Knochen bei 60 kV und bei 250 kV, so kann damit indirekt der Gehalt des Knochens an Hartschubstanz mit höherer Ordnungszahl bestimmt werden.

Unter diesen Bedingungen nahm Krokowski einen Plexiglaskeil im Wasserbad röntgenologisch auf, um damit Schwankungen

im Filmmaterial, z.B. unterschiedliche Korngrösse, zu erfassen und zu eichen. Die mit einem Photometer gemessenen Extinktionen des Keiles sind in den nachfolgenden Kurven graphisch dargestellt. Mit deren Hilfe kann ermittelt werden, ob die verschiedenen Röntgenfilme die gleichen Extinktionen haben wie in dem gezeigten Falle, damit eventuelle Schwankungen bzw. Abweichungen ausgeglichen werden können. Der Keil hat also als anonymes Standardmodell zu wirken, der eindeutig aufzeigt, daß die Extinktionen gleich geblieben sind. Die mit dem Photometer gemessenen Extinktionswerte werden im folgenden als Schwächungsgleichwerte bezeichnet. Formelmässig zusammengefasst ergibt sich daraus folgendes, wobei die Symbole im einzelnen bedeuten:

SGW_w : Schwächungsgleichwert für Weichteilgewebe .

SGW_k : - " - für Knochen.

SGW_{wk} : - " - für Wirbelknochen
(im Weichteilgewebe eingebettet).

μ_k : Schwächungskoeffizient für Knochen.

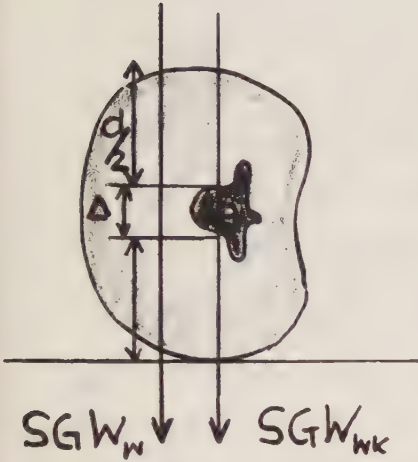
μ_w : - " - für Weichteilgewebe.

μ_{H_2O} : - " - für Wasser.

d : Dicke der Gewebsschicht.

Δ : Dicke des Knochens.

μ_w ~~is~~ μ_{H_2O} .



$$SGW_N = \frac{\mu_N d + \mu_W \Delta}{\mu_W} \text{ [cm]}$$

$$SGW_{wk} = \frac{\mu_W d + \mu_K \Delta}{\mu_W} \text{ [cm]}$$

$$SGW_K = \frac{\mu_K \Delta}{\mu_W} \text{ [cm]}$$

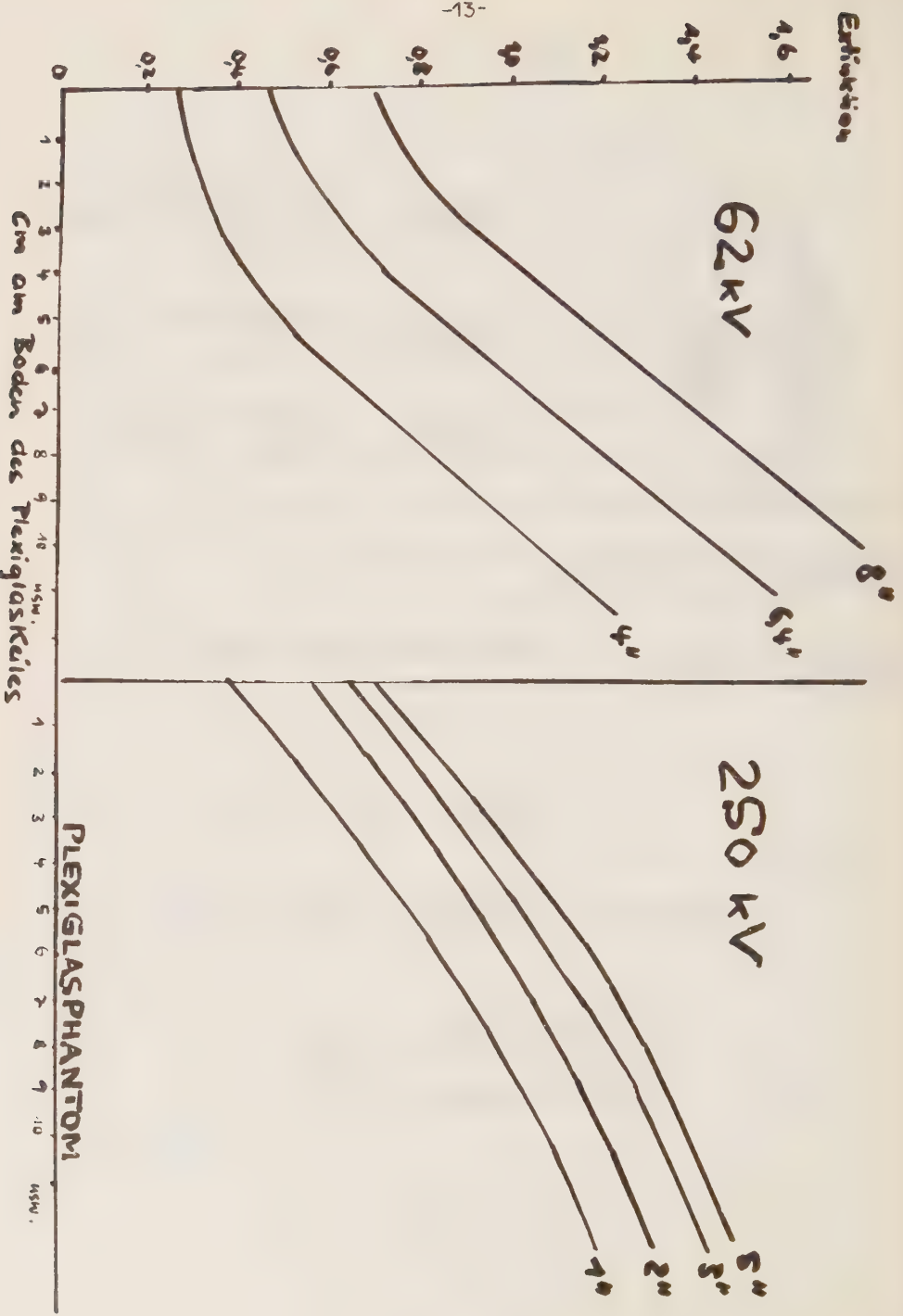
$$SGW_{wk} - SGW_N = \frac{\mu_W d + \mu_K \Delta - \mu_N d - \mu_W \Delta}{\mu_W}$$

$$= \frac{\mu_K \Delta}{\mu_W} - \Delta \text{ [cm]}$$

$$SGW_K = SGW_{wk} - SGW_N + \Delta$$

$$\frac{(SGW_K)_{62 \text{ kV}}}{(SGW_K)_{250 \text{ kV}}} = K$$

Extinktion



d.h. also, daß der Schwächungsgleichwert für Knochen (SGW_K) dem Schwächungsgleichwert für Knochen in Weichteil eingebettet (SGW_{wk}) abzüglich des Schwächungsgleichwertes für Wasser (SGW_w) entspricht. Rechnerisch ergibt sich daraus der K-Faktor, nämlich die Differenz aus dem Schwächungsgleichwert für Knochen bei 62 kV und bei 250 kV.

E. Praktische Durchführung der röntgenologischen Untersuchungen.

Um den Absolutwert des K-Faktors zu ermitteln, untersuchten wir

1. die Heuck'sche Apatittreppe, sowie
2. autoptisch gewonnene menschliche Wirbelknochen der Brust- und Lendenwirbelsäule.

Die röntgenologische Aufnahmetechnik war jedesmal die gleiche.

AUFNAHME DATEN : 62 kV - 120 cm Fokus-Filmabstand
Kreuzraster
Eigenfilter
Belichtungszeit 2-10''
Entwicklungszeit 5'

250 kV - 110 cm Fokus-Filmabstand
Kreuzraster
2 mm Cu-Filter
Belichtungszeit 1-5''
Entwicklungszeit 5'

Unter Verwendung handelsüblicher Filme.

Zu 1)

Mit diesen Aufnahmedaten nahmen wir in einem Plexiglasgefäß

mit jeweils 16-18 cm Wasser als Weichteilphantom die oben beschriebene Heuck'sche Apatittreppe bei 62 und 250 kV auf. Subtrahiert man, wie weiter oben formelmässig erläutert, den Schwärzungsbetrag des Wasserbezirkes von dem der Treppe, so erhält man den Schwächungsgleichwert für die Treppe, wobei der Einfluß des Weichteilmantels durch die Differenzbildung eliminiert wird. Das Verhältnis dieser Werte bei 62 kV und bei 250 kV ist der K-Faktor.

Zu 2) .

Unter den gleichen Bedingungen und mit den gleichen Aufnahmedaten wie vorher wurden nun Wirbelknochen der Brust- und vorallem der Lendenwirbelsäule röntgenologisch aufgenommen und ausgewertet. Die Knochen wurden autoptisch am Pathologischen Institut der Freien Universität Berlin gewonnen (Direktor: Professor Dr.med. W. Masshoff).

Um die Dicke bzw. das Volumen eines Knochens zu errechnen, müssen am Patienten eine anterior-posterior sowie eine seitliche Aufnahme angefertigt werden. Bei den von uns untersuchten Wirbelknochen konnten wir auf die seitliche Aufnahme verzichten, da wir die Höhe des Knochens mit einem Zentimeter-Maß abmessen konnten.

Auf den Röntgenbildern der Apatittreppe (62 und 250 kV) wird an den Stellen mit verschiedenem, aber bekannten Apatitgehalt und in einem unmittelbar benachbarten apatitfreien Bezirk die Filmschwärzung mit dem Photometer gemessen.

K_{Treppe}	an der Treppe seitlich vermerkte Menge Mineral in mg/ml
1,64	100
1,93	200
2,15	270

Es sind hier nur die Werte aufgeführt, die auch bei der Wirbelsäule tatsächlich vorkommen.

Um das Volumen der Wirbelknochen zu bestimmen, wurden diese quer und längs durchschnitten. Damit wurden relativ glatte Schnittkanten erzielt, die sich abmessen liessen.

Die Wirbelknochen wurden im Wasserbad bei 62 kV und bei 250 kV röntgenologisch aufgenommen. Diese Aufnahmen wurden dann photometriert und aus dem Verhältnis der beiden photometrisch ermittelten Werte der K-Faktor bestimmt.

F. Chemisch-analytische Untersuchungen.

Nach der röntgenologischen Auswertung der Knochen wurden diese im Physiologisch-chemischen Institut der Freien Universität Berlin eigenhändig unter Leitung von Priv.Do. Dr. J. Dulce chemisch-analytisch untersucht.

Der Gang der Untersuchungen war im einzelnen folgender:

1. Das Frischgewicht des Wirbelknochens wird sofort nach der Entnahme bestimmt. Anschließend wird
2. der Knochen im Thermostat bei 105° C 24 Stunden lang getrocknet und
3. das Trockengewicht festgestellt. Nach der
4. Entfettung mit Aether - Chloroform - Alkohol erneute Gewichtsbestimmung mit
5. Gewichtskontrolle.

Nach diesen Arbeitsgängen werden die gesammelten (trocknen) Knochen in Wasser eingeweicht und nach der oben beschriebenen Methode wird röntgenologisch der K-Faktor und damit der Gehalt des Knochens an Hartsubstanz bestimmt, womit dann die

röntgenologische Untersuchung des jeweiligen Knochens abgeschlossen ist.

6. Jetzt wird der erneut bei 105° C 24 Stunden lang getrocknete Knochen zur chemischen Analyse in einen Kolben mit Rückflußkühler quantitativ eingewogen, um ihn zu veraschen. Wir bedienen uns dabei der
7. Formamidveraschung (10):

Der getrocknete Knochen wird im Kolben mit Rückflußkühler in Formamid (H CO NH_2) solange gekocht, bis er frei von organischen Substanzen als reines Apatit X), genauer als reines Knochenmineral vorliegt. Während reines Calciumcarbonat beim Erhitzen in Formamid in Lösung geht, ist das bei Anwesenheit

X) Knochenmineral ist mineralogisch kein eigentliches Apatit. Es hat Apatitstruktur, jedoch sind die Gitterstellen durch isomorphe Ionen besetzt.

tierischen Gewebes, was ja bei den von uns untersuchten Wirbelknochen vorlag, nicht der Fall.

Dieses unterschiedliche Verhalten läßt sich dadurch erklären, daß bei Anwesenheit von tierischem bzw. menschlichem Gewebe aus dem Eiweiß durch den Formamidaufschluß Peptide frei werden, die das Ammoniumformiat unter Bildung von Formylverbindungen abfangen. Das Ammoniumformiat würde sich beim Erhitzen des Formamids bilden und das Calciumcarbonat auflösen, wobei sich letzteres zu Calciumformiat umsetzt. Dabei werden Ammoniak und Kohlendioxyd frei.

Bei den von uns untersuchten Wirbelknochen erwies sich eine Kochzeit von 3 1/2 - 6 Stunden bei 160° C als notwendig, um den Knochen von organischen Bestandteilen zu befreien . Es wurden je Wirbelknochen im Durchschnitt ein halbes Kilogramm Formamid verbraucht.

Nach der Veraschung lag der von seiner organischen Substanz befreite Knochen als reines Mineral vor. Er war schneeweiß und ließ sich zwischen den Fingern ohne Schwierigkeit zerdrücken, behielt jedoch bei vorsichtigem Kochen seine naturgetreue Gestalt. Das noch im Knochen verbliebene Formamid wurde mit aqua bidest. ausgespült. Dann wurde der Knochen im Thermostaten bei 105°C 24 Stunden lang getrocknet und das Gewicht bestimmt. Um das Apatit chemisch-analytisch untersuchen zu können, wurde der Knochen mit einem Mörser zerkleinert. Je eine Doppelreinwaage des "Knochenpulvers" wurde in konzentrierter Salzsäure (37%) unter leichtem Erhitzen im Wasserbad gelöst.

Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt, wobei die Differenz zwischen beiden in 36 Untersuchungen maximal bei 0,8% lag, im Mittel bei 0,3%.

1. Die Phosphatbestimmung erfolgte nach Fiske-Subbarow,
2. die Calciumbestimmung nach Dulce-Siegmund.

Zu 1. Phosphatbestimmung nach C.H. Fiske und Y. Subbarow.

Prinzip:

Es wird aus anorganischem PO_4 und Molybdänsäure stöchiometrisch Phosphormolybdänsäure gebildet, die dann durch ein Reduktionsmittel in niedere blaufarbte Molybdänmischoxyde überführt werden kann. Die Farbstoffbildung ist von der PO_4 - Konzentration abhängig und muß erst bei Eichlösungen verschiedener PO_4 - Konzentrationen ermittelt werden, ehe unbekannte Werte gemessen werden können (Eichkurve). Die Farbstoffmessung selbst geschieht mit dem Eppendorf-Photometer. Man bestimmt den $\log$ der Lichtschwächung $\frac{I}{I_0}$ beim Durchfall eines monochromatischen Lichtstrahls I_0 durch eine 1 cm breite (=d) Küvette mit Farblösung. Das ausfallende Licht I wird mit einer Photozelle als Photostrom gemessen. $\log \frac{I}{I_0}$ ist gleich $e \cdot K$. Die Konstante K setzt sich aus dem Produkt von d und dem molaren Extinktionskoeffizienten des Farbstoffs (e) zusammen. Damit ergibt sich, daß $\log \frac{I}{I_0}$ linear proportional zur Konzentration ansteigt und für quantitative Aussagen geeignet ist.

Methodik:

Eine gewogene Menge Knochenasche (etwa ein mg) wird in einen trockenen 10 ml Messkolben gefüllt und mit 1 ml n HCL im kochenden Wasserbad gelöst (es werden Doppelbestimmungen durchgeführt). Weiter gibt man hinzu:

0,4 ml 10 n H_2SO_4

0,8 ml 2,5 %ige Ammonmolybdatlösung

0,4 ml Reduktionsreagenz (0,5 g Amino-2-naphtol-4-sulfonsäure + 195 ml 15 %ige NaHSO_3 -Lösung + 5 ml 20 %ige Na_2SO_3 - Lösung)

und füllt mit Aqua dest. auf.

Als Leerwert verwendet man den gleichen Ansatz ohne die zu untersuchende Probe. Die Eichkurve 5 - 50 γ P / ml wird hergestellt, indem man Kölbchen mit je 1 ml der PO_4 - Eichlösung an Stelle der Proben, sonst aber wie beschrieben, beschickt. Nach 30 Minuten langem Stehen der Kölbchen wird die Extinction = $-\log \frac{I}{I_0}$ an der $\log$. Einteilung der Galvanometerskala vor dem Filter Hg 578 m μ gegen den Leerwert abgelesen. Die Eichkurve trägt man auf Millimeterpapier auf und entnimmt die unbekannten Werte. Multiplikation der aus der Eichkurve entnommenen Werte mit 200 ergibt die mg % P.

Zu 2. Bestimmung des Calciums nach H.J. Dulce und P. Siegmund.

Prinzip:

Calcium wird quantitativ an Murexid zu einem violetten Farbstoff gebunden. Durch Titration mit Titriplex-III-Lösung (Athylen-diamintetraessigsäure) bekannter Konzentration, die Ca stöchiometrisch chelatartig bindet, werden dem Ca - Murexid die Ca-Ionen wieder entrissen. Sind alle Ca-Ionen an Titriplex gebunden, schlägt die Farbe von violett nach rot um. Dieser Umschlagpunkt wird photometrisch bei 477 m μ ermittelt. Die bis zum Umschlagpunkt verbrauchte ml - Titriplexlösung entnimmt man der graphischen Darstellung des Titrationsverlaufes.

Methodik:

In eine grosse 4 cm Küvette des Eppendorf-Photometers pipettiert man 9,5 ml H₂O, 0,1 ml der zu untersuchenden Probe (wie bei der P-Bestimmung), 2ml 2 n NaOH und 0,3 ml 30 mg-%ige Murexidlösung. Man bestimmt die Extinktion nach Umrühren bei 477 m μ gegen einen festen Farbstandard. Jetzt titriert man unter Umrühren mit m/400 Titriplex-III-Lösung in Schritten von 20 μ l mit der Mikrobürette. Alle 20 μ l wird die Extinktion an der Galvanometer-skala abgelesen und die Titration fortgeführt, bis die Extinktionsunterschiede gleichmässig gering sind. Der Endpunkt der Titration wird graphisch ermittelt. Man trägt E auf der Ordinate gegen die μ l m/400 Titriplexlösung auf der Abszisse auf. Aus den Messwerten resultieren zwei im stumpfen Winkel zueinander stehende Geraden, deren Schnittpunkt der Äquivalenzpunkt der Titration ist. Bis zum Schnittpunkt verbrauchte μ l m/400 Titriplex.F.O.1 = mg % Ca. Von diesem Ergebnis muß der Ca-Leerwert, der aus der Differenz der Titrationswerte von 0,1 und 0,2 ml 10 mg %iger Ca-Ionen-Lösung stammt, abgezogen werden.

Ergebnisse.

- - - - -

1. Bestimmung des K - Faktors
 - a) der Lendenwirbelkörper
 - b) der Heuck'schen Apatittreppe.
2. Chemisch-analytische Ergebnisse der Untersuchung der Wirbelknochen.

Zu 1 a)

Es wurden menschliche Wirbelknochen autoptisch gewonnen und anschließend röntgenologisch der K - Faktor nach der von Krokowski angegebenen Methode bestimmt. Es waren Knochen sowohl männlicher als auch weiblicher Patienten mit den verschiedensten Todesursachen. Der K - Faktor bewegte sich zwischen 1,67 - 2,3. Der Mineralgehalt in Prozent, bezogen auf Wirbeltrockengewicht, bewegte sich zwischen 30,5 und 53,9 %. Manche Wirbel (in der Tabelle mit einem x versehen) waren makroskopisch Metastasen verdächtig.

	Diagnose	Geschlecht m=männlich w=weiblich	Alter in Jahren	K-Wert	Dicke des Wirbels
	1. Lobärpneumonie	m.	58	1,57	3,0 cm
x	2. Glioblastom	m.	57	1,73	2,8
	3. Diabet. Herzinsuff.	m.	88	1,83	2,8
	4. Apoplexie	m.	77	1,8	2,7
	5. Aortenklappenstenose	m.	50	1,83	2,9
	6. Istmussten.	w.	40	1,87	3,5
	7. Lebercirrh.	w.	74	1,88	4,0
x	8. met. Prostat. ta.	m.	71	1,89	4,2
x	9. met. Oberbauchtu.	m.	67	1,89	3,8
	10. Tbc, Kachexie	m.	65	1,89	3,2
x	11. met. Genit.-ca.	w.	50	1,93	2,8
x	12. Ovarialca.	w.	50	1,94	3,9
	13. Herzinfarkt	w.	77	1,97	3,0
	14. Suicid	w.	50	1,97	3,5
	15. Lymphat. leukämie	m.	72	2,1	4,5
	16. Carcinom	m.	78	2,17	4,0
	17. Apoplexie	m.	59	2,3	3,2
x	18. Genitalca.	w.	45	2,05	3,8

b) Ausserdem wurde zum Vergleich die Heuck'sche Apatittreppe unter den gleichen Bedingungen röntgenologisch bei 62 kV und bei 250 kV aufgenommen und anschließend der K - Faktor bestimmt.

mg/ml Apatit seitlich an der Treppe vermerkt	K - Faktor
100	1,64
200	1,93
460	2,8
100	1,64
270	2,15
450	2,7

Es zeigte sich, daß die K-Faktoren der Heuck'schen Treppe und ihre entsprechenden Apatitmengen unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen mit den K-Faktoren der Wirbelknochen und deren Mineralmengen übereinstimmen.

Heuck'sche Treppe		Wirbelknochen	
K	Apatit mg/ml	Apatit mg/ml	K
1,64	100	100	1,65
1,93	200	200	1,94
2,15	270	270	2,10
2,70	450	450	2,65

Ein Teil der Apatitmengen, die in der Heuck'schen Treppe vorhanden sind, kamen in den von uns untersuchten Wirbelknochen nicht vor. Deshalb werden im Folgenden die tatsächlich in Wirbeln gefundenen Mineralmengen dem Apatitgehalt der Treppe und den entsprechenden K-Faktoren gegenübergestellt.

K _{Treppe}	Mineral mg/ml d. Treppe	K _{Wirbel}	Mineral mg/ml d. Wirbel
1,64	100	1,65	135
1,93	200	1,93	200
2,15	270	2,20	280

ad 2)

Nach der röntgenologischen Untersuchung wurden die frischen Wirbelknochen getrocknet und dann chemisch-analytisch untersucht. Um den Gesamt-Mineralgehalt festzustellen, wurden sie zuerst verascht, dann wurde der Calcium und Phosphor- bzw. Phosphatgehalt bestimmt.

	Trockengewicht in g	Aschegehalt in g	Mineral in % Trockengewicht
1.	3,25	1,09	33,5
2.	3,96	1,31	33,0
3.	2,44	0,91	37,3
4.	1,96	0,7	36,2
5.	6,6	2,5	37,9
6.	2,0	0,8	40,0
7.	6,9	2,8	40,8
8.	5,1	2,0	39,8
9.	3,0	1,2	40,0
10.	2,3	0,9	39,1
11.	4,9	2,0	42,0
12.	3,0	1,3	42,6
13.	3,2	1,4	43,7
14.	3,3	1,5	45,3
15.	2,7	1,2	46,9
16.	2,6	1,4	53,9
17.	6,8	3,2	46,1
18.	3,2	1,5	46,8

	Frish- gewicht in g	Frish- volumen	Trocken- gewicht in g	Asche- gehalt in g	Mineral pro ml Frishgewicht in mg/ml
1.	4,0	8,0	3,25	1,09	136
2.	4,83	9,66	3,96	1,31	135
3.	2,97	6,0	2,44	0,91	153
4.	2,40	4,6	1,94	0,7	150
5.	6,8	15,0	6,6	2,5	166
6.	2,5	4,6	2,0	0,8	173
7.	8,4	16,0	6,9	2,8	175
8.	6,2	11,0	5,1	2,0	181
9.	3,66	6,4	3,0	1,2	189
10.	2,8	4,7	2,3	0,9	191
11.	5,9	10,0	4,9	2,0	200
12.	3,66	6,1	3,0	1,3	213
13.	3,9	6,3	3,2	1,4	222
14.	4,2	7,0	3,3	1,5	214
15.	3,3	5,8	2,7	1,2	206
16.	3,2	6,0	2,6	1,4	233
17.	7,0	12,0	6,8	3,2	266
18.	4,0	6,1	3,2	1,5	250

Bezogen auf Trockengewicht Mineral		Calcium in mg/ml
PO ₄ in %	Ca in %	Frischvolumen
1. 14,5	10,25	44,9
2. 13,8	11,2	44,7
3. 18,0	12,5	50,0
4. 17,5	12,5	52,4
5. 17,15	12,3	55,0
6. 18,15	13,3	57,3
7. 19,5	13,75	57,7
8. 18,2	13,25	60,0
9 . 19,0	14,25	61,8
10. 18,0	12,85	63,2
11. 17,2	12,42	66,0
12. 18,6	14,65	70,3
13. 18,85	13,95	73,3
14. 20,9	14,75	70,7
15. 22,8	14,85	68,3
16. 24,5	18,4	77,0
17. 24,1	15,05	88,0
18. 22,0	15,9	81,1

Es muß an dieser Stelle gesagt werden, daß die Bestimmung des Frischgewichtes und des Frischvolumens mit nur Schwer vermeidbaren, und vorallem nicht erfassbaren Ungenauigkeiten behaftet ist.

1. Selbst der quer- und längsgeschnittene Wirbelknochen läßt sich nicht genau mit dem cm-Maß z.B. zur Volumenbestimmung abmessen.
2. Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Volumens, da sich bei beginnender Austrocknung die relativ dünnen Deckplatten bereits verziehen.
3. Änderung des Frischgewichtes, wenn die Untersuchung nicht sofort nach der Entnahme durchgeführt werden konnte (Austrocknung).
4. Es ist zu vermuten, daß auch bei den Knochen das Gewicht verändert ist, die aus bereits in Verwesung übergegangenen Leichen entnommen wurden.

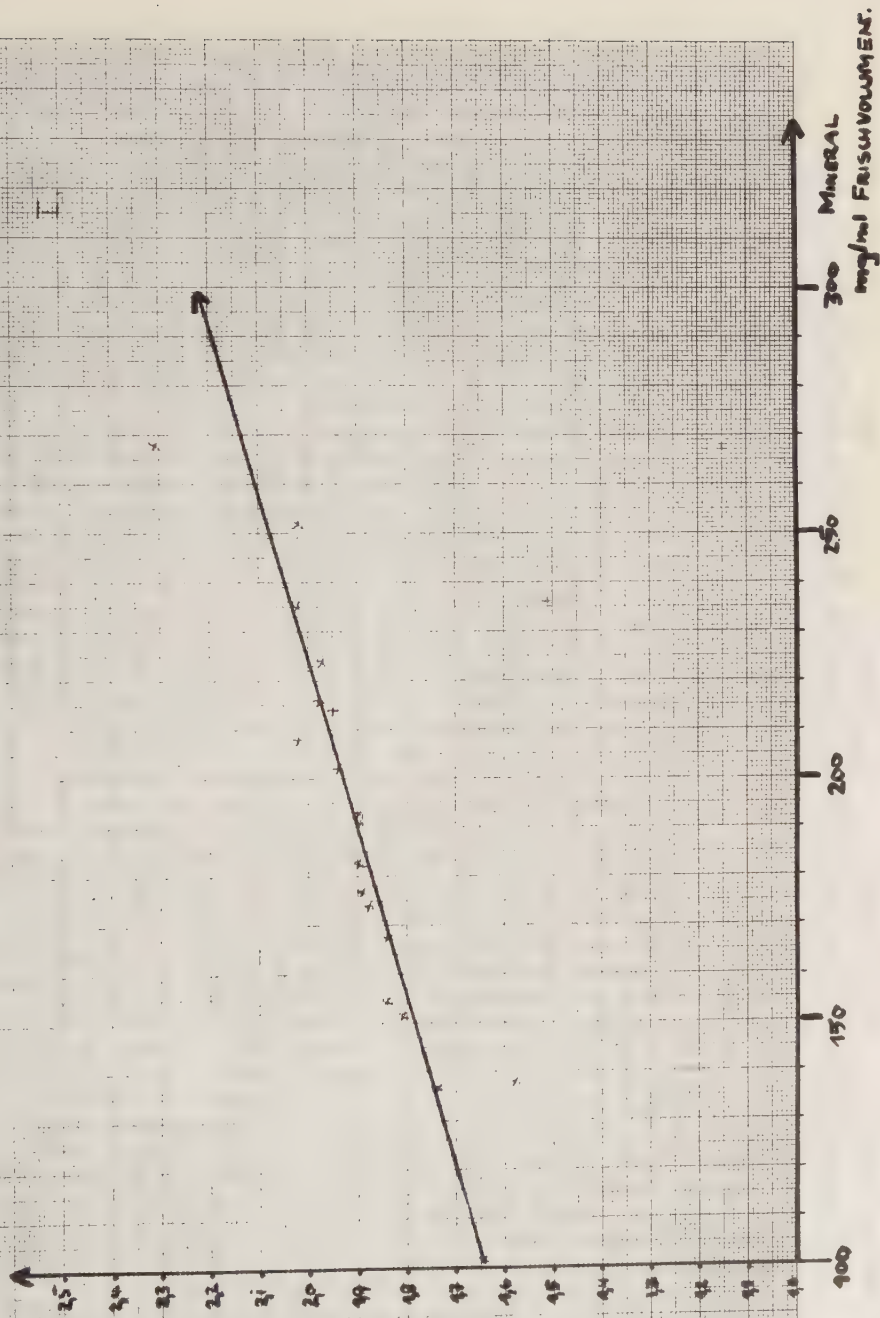
Trotzdem wurde ein Diagramm angefertigt, in dem der K-Faktor in Abhängigkeit vom Mineralgehalt, bezogen auf Frischvolumen (mg/ml), dargestellt wird.

H. Diskussion.

In zwei Diagrammen haben wir den K-Faktor und den entsprechenden Mineralgehalt eingetragen. Im 1. Diagramm wird der Mineralgehalt in mg/ml Frischvolumen angegeben, wobei die weiter oben besprochenen Ungenauigkeiten berücksichtigt werden müssen.

Im 2. Diagramm (2) wird der K - Faktor der Heuck'schen Apatittreppe in Abhängigkeit von den entsprechenden Mineralmengen eingetragen. In beiden Diagrammen fanden sich linear ansteigende Kurven, wobei beide Kurven mit nur geringen Abweichungen (die im Bereich der Fehlergrenzen der Methode liegen) übereinstimmen (siehe auch Diagramm 3). Hat man also röntgenologisch den K - Faktor bestimmt, so kann an diesen Diagrammen der dazugehörige Mineralgehalt in mg/ml Frischvolumen abgelesen werden. Es kann nur auf mg/ml Frischvolumen geschlossen werden, nicht aber auf Mineral/ Trockengewicht (siehe auch Tabelle S.27). Zu berücksichtigen ist hierbei die Fehlergrenze zwischen dem röntgenologisch und chemisch-analytisch bestimmten Apatitgehalt. Es wurden insgesamt 36 Wirbelknochen (Brust- und Lendenwirbel) röntgenologisch und 18 Knochen chemisch-analytisch untersucht. Der Fehler betrug maximal $\pm 4 \%$, wobei fast immer der röntgenologisch bestimmte Apatitgehalt um die genannten Prozentzahlen niedriger lag als der chemisch-analytische.

K-FAKTOR / FRISCHVOLUMEN

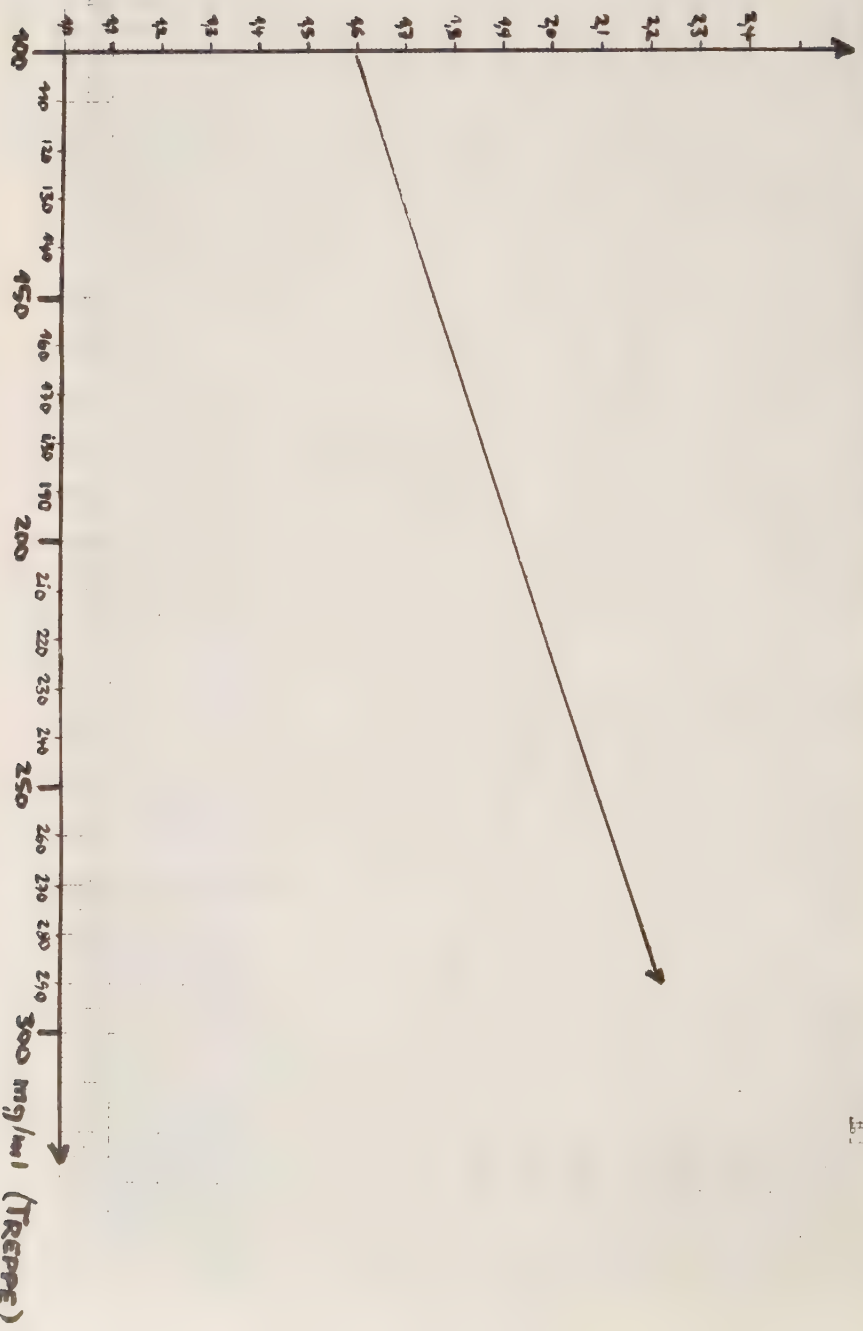


K-FAKTOR

MINERAL D. TREPPE [μg/g]

III

10
100



(TREPPE)

K-FAKTOR

II



23

22

21

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

400

380

360

340

320

300

280

260

240

220

200

180

160

140

120

100

80

60

40

20

0

400

380

360

340

320

300

280

260

240

220

200

180

160

140

120

100

80

60

40

20

0

200

250

300

350

400

450

500

550

600

650

700

750

800

850

900

950

1000

1050

1100

1150

1200

1250

1300

1350

1400

1450

1500

1550

1600

1650

1700

1750

1800

1850

1900

1950

2000

2050

2100

2150

2200

2250

2300

2350

2400

2450

2500

2550

2600

2650

2700

2750

2800

2850

2900

2950

3000

3050

3100

3150

3200

3250

3300

3350

3400

3450

3500

3550

3600

3650

3700

3750

3800

3850

3900

3950

4000

4050

4100

4150

4200

4250

4300

4350

4400

4450

4500

4550

4600

4650

4700

4750

4800

4850

4900

4950

5000

5050

5100

5150

5200

5250

5300

5350

5400

5450

5500

5550

5600

5650

5700

5750

5800

5850

5900

5950

6000

6050

6100

6150

6200

6250

6300

6350

6400

6450

6500

6550

6600

6650

6700

6750

6800

6850

6900

6950

7000

7050

7100

7150

7200

7250

7300

7350

7400

7450

7500

7550

7600

7650

7700

7750

7800

7850

7900

7950

8000

8050

8100

8150

8200

8250

8300

8350

8400

8450

8500

8550

8600

8650

8700

8750

8800

8850

8900

8950

9000

9050

9100

9150

9200

9250

9300

9350

9400

9450

9500

9550

9600

9650

9700

9750

9800

9850

9900

9950

10000

10050

10100

10150

10200

10250

10300

10350

10400

10450

10500

10550

10600

10650

10700

10750

10800

10850

10900

10950

11000

11050

11100

11150

11200

11250

11300

11350

11400

11450

11500

11550

11600

11650

11700

11750

11800

11850

11900

11950

12000

12050

12100

12150

12200

12250

12300

12350

12400

12450

12500

12550

12600

12650

12700

12750

12800

12850

12900

12950

13000

13050

13100

13150

13200

13250

13300

13350

13400

13450

13500

13550

13600

13650

13700

13750

13800

13850

13900

13950

14000

14050

14100

14150

14200

14250

14300

14350

14400

14450

14500

14550

14600

14650

14700

In Diagramm III sind nochmals zum Vergleich Kurve I und II zusammen eingezeichnet. Hier ist in Abhängigkeit vom K - Faktor

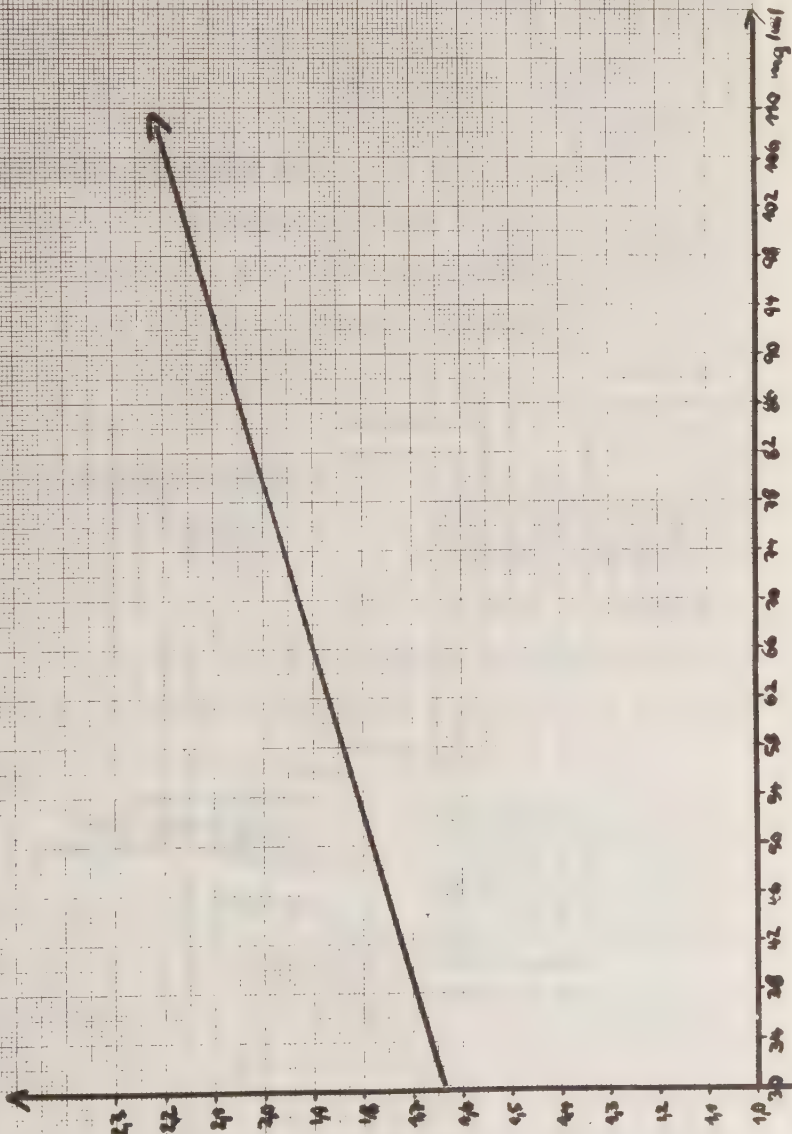
1. mg/ml Apatit der Heuck'schen Treppe und
2. mg/ml Mineral (Frischvolumen) der Wirbelkörper eingetragen.

Wie ersichtlich, stimmen die beiden Kurven mit den im Bereich der Fehlergrenzen liegenden Abweichungen überein.

In einem IV. Diagramm sind die K-Faktoren der Wirbel in Abhängigkeit vom Calcium - Gehalt in mg/ml Frischvolumen aufgeführt.

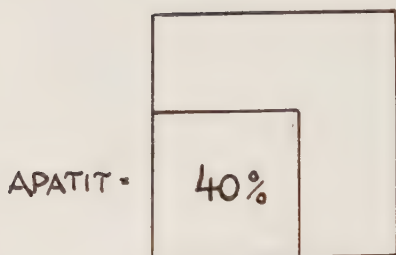
17

K-FACTOR / CALCIUM

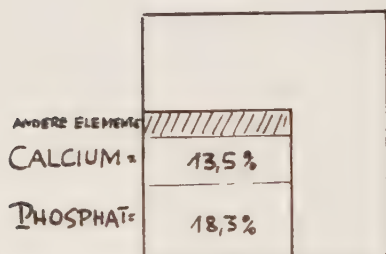


Ca in mg/ml Fricaval

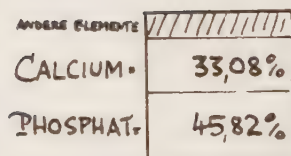
SKIZZE 2



KNOCHENGEWICHT
= 100%



KNOCHENGEWICHT
= 100%

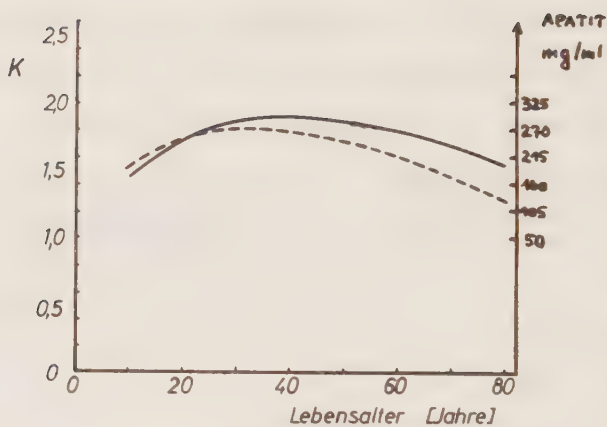


APATITGEWICHT
= 100%

Um den Gehalt des menschlichen Knochens an Mineral graphisch darzustellen, wurde Skizze 2 angefertigt. Sie zeigt, daß der normale Knochen (Wirbel) maximal 40 % Mineral enthält, davon sind ca. 13,5 % Calcium, 18,3 % Phosphat und noch andere Elemente.

Die praktische Bedeutung der Mineralbestimmung im menschlichen Knochen mit Hilfe des K-Faktors wird demonstriert, indem wir zusammen mit Krokowski Untersuchungen am Radius durchführten. Es wurden nach der Methode von Krokowski die K-Faktoren bestimmt, und zwar auf den Röntgenaufnahmen des Radius bei 62 kV und 250 kV. Gemessen wurde in einem distalen Bezirk dieser Knochen, sowohl männlicher als auch weiblicher Patienten. Dann wurden die K-Werte sowie die diesen entsprechenden Mineralmengen in einem Diagramm in Abhängigkeit vom Alter eingetragen. Es zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit des Apatitgehaltes von Alter, Geschlecht und Belastung des Armes. Bei weiblichen Personen war der Apatitgehalt ($K=1,5-1,7 = 130 \text{ mg/ml}$) geringer als bei Männern ($K=1,6-1,8 = \text{um } 155 \text{ mg/ml}$) - am stärksten bei Handarbeitern -, wobei die betreffende Arbeitshand am apatitreichsten war, d.h. es treten beim Radius auch bei knochengesunden Personen allein durch die unterschiedliche Belastung (Beruf) größere Schwankungen im Apatitgehalt auf als bei der Wirbelsäule. Die Kurven der Altersabhängigkeit der K-Werte für beide Geschlechter sind gegeneinander verschoben, wobei der Scheitelpunkt der weiblichen Kurve bei 30 Jahren liegt, der der männlichen bei 40

KURVE 4



K-FAKTOR GEMESSEN AM RADIUS

[— KURVE DER MÄNNL. PATIENTEN]
[--- " DER WEIBL. "]

Der Apatitgehalt der Wirbelsäule liegt über der des Radius $K = 1,9 = 190 \text{ mg/ml}$ Frischvolumen. Es stellte sich heraus, daß wir von einem normalen Apatitgehalt der Wirbelsäule sprechen können, wenn $K = 1,9 \pm 0,12$ ist. Unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen muß von einer Osteoporose gesprochen werden, wenn die Meßergebnisse wesentlich unter 1,9 liegen. Als besonders auffallend erwies sich folgende Beobachtung, daß aus der makroskopischen Betrachtung des noch nicht veraschten Wirbels, der quer aufgeschnitten ist, nur selten ein annähernd richtiger Gehalt an Hartsubstanz geschätzt wurde. Meist erwiesen sich Wirbel als "Apatit-gesund", die durchaus makroskopisch als osteoporotisch zu bezeichnen waren. Desgleichen lagen Knochen, die man als sicher "osteosklerotisch" ansah, wenn überhaupt, nur unwesentlich über der Norm. Hierbei drängt sich zwangsläufig die Frage auf, ob wirklich jede vom Pathologen an Hand der quergeschnittenen Wirbelknochen diagnostizierte Osteoporose eine Osteoporose ist.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß die von Krokowski angegebene Methode, die von uns angewendet wurde, an jeder Klinik durchführbar ist.

Allerdings wird eine Spannung von 250 kV nur mit therapeutischen Röntgengeräten erreicht. Es werden zwei Aufnahmen a.p. und seitlich durchgeführt und der K - Faktor bestimmt. Bei den von uns durchgeführten Untersuchungen wurde aus den oben genannten Gründen auf eine seitliche Aufnahme verzichtet.

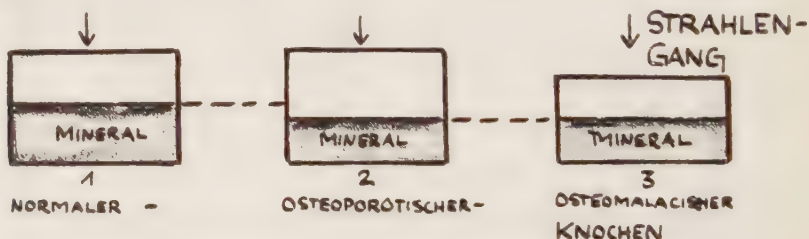
Dieser K - Faktor steht in einem direkten Verhältnis zu dem von uns ermittelten Mineralgehalt. Das sei noch einmal in einer Gegenüberstellung aufgezeigt. Die Tabelle zeigt, daß eine Zunahme des K - Faktors um 0,05 (von 1,83 - 1,88, von 1,88 - 1,93, von 1,93 - 1,98) einer Steigerung des Mineralgehaltes um durchschnittlich 2,07 % (bezogen auf Trockengewicht) bzw. fast genau um je 25,0 mg/ml (Frischvolumen) entspricht.

Steigerung von	Wasser	Mineral besager auf Trockengewicht	mg/ml Frisch- volumen	
0,1	1,87	37,3	153	22 mg
0,05	1,87	39,6	173	
	1,88	40,0	175	
0,15	1,89	40,5	181	25
	1,89	40,7	189	
	1,89	40,9	191	
	1,95	42,0	200	
0,05	1,94	42,6	213	25
	1,97	44,1	222	
	1,98	44,6	225	

Im Gegensatz dazu benötigt man bei der von Heuck angegebenen Methode die weiter oben beschriebene Apatittreppe, die unmittelbar neben den zu untersuchenden Knochen röntgenologisch mitaufgenommen werden muß. Bei Knochen von Extremitäten ist die Heuck'sche Methode gut anwendbar, bei der Wirbelsäule dürfte sie jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten stossen, da sich die Treppe nur sehr schlecht direkt neben einen Wirbelkörper aufnehmen läßt.

Zu beachten ist, daß mit beiden Methoden eine Osteoporose nicht von einer Osteomalacie unterschieden werden kann.

Betrachtet man z.B. die folgenden drei Wirbel- bzw. Knochenmodelle:



Bei Wirbel 1 wird sich ein K-Faktor mit entsprechend normalem Mineralgehalt ermitteln lassen. Bei Knochen 2 und 3 wird jedoch derselbe K-Faktor mit dem entsprechenden gleichen Mineralgehalt festgestellt werden, da mit der Methode von Krokowski der im gesamten Wirbel vorhandene Mineralgehalt ermittelt wird, unabhängig, ob der Wirbel z.B. "zusammengesintert" ist oder sonst seine normale Form verändert hat.

J. Zusammenfassung.

- - - - -

Es wurde röntgenologisch der K - Faktor

1. der Heuck'schen Apatittreppe und
2. von Wirbelkörpern

bestimmt. Die Wirbel wurden dann verascht und chemisch-analytisch untersucht.

Sodann wurden die K - Werte der Wirbelkörper mit den entsprechenden Mineralmengen bezogen auf Frischvolumen in einem Diagramm eingetragen. In einem zweiten Diagramm wurde der K - Faktor der Heuck'schen Apatittreppe mit ihrem entsprechenden Mineralgehalt dargestellt.

Es zeigte sich, daß die beiden Diagramme mit nur geringen Abweichungen übereinstimmen.

Man kann also aus den K - Werten der Diagramme auf den Mineralisationsgrad von Wirbelknochen bzw. Knochen schlechthin schließen.

Damit hat sich das Verfahren von Kozowski als praktisch anwendbar erwiesen. Es kann an jeder Klinik ohne Schwierigkeit zur röntgenologischen Mineralbestimmung von Knochen, besonders auch der Wirbelsäule, durchgeführt werden.

TABELLE 1

ERGEBNISSE DER CHEMISCH-ANALYTISCHEN [KNOCHEN DER BRUST- u. LENDENWIRBELSÄULE] UNTERSUCHUNGEN

A=APATITGEWICHT T=TROCKEN - DES KNOCHENS		APATIT IN % DES KNOCHENS [=100%]	BEZOGEN AUF APATIT = 100%		BEZOGEN AUF APATIT = 100%		BEZOGEN AUF KNOCHENGEWICHT=100%	
			P %	PO ₄ %	γCa	Ca %	PO ₄ %	Ca %
1. A	2,4960	37,9	14,8	45,26	30,52	32,4	17,15	12,3
T	6,5950							
2. A	2,839	40,8	15,64	47,85	30,2	33,7	19,5	13,75
T	6,9477							
3. A	2,0406	42,0	13,4	41,0	30,2	29,6	17,2	12,42
T	4,8502							
4. A	1,2164	46,0	14,6	44,7	32,97	32,3	22,8	14,85
T	2,6624							
5. A	3,1994	46,7	14,56	44,6	22,13	32,2	24,1	15,05
T	6,8472							
6. A	0,9301	40,2	14,6	44,7	29,5	31,9	18,0	12,85
T	2,3133							
7. A	1,0918	30,5	15,55	47,6	25,28	33,6	14,5	10,25
T	3,2541							
8. A	1,4046	44,1	13,95	42,6	25,85	31,6	18,85	13,95
T	3,1865							
9. A	1,3947	53,9	15,35	45,5	25,82	34,1	24,5	18,4
T	2,5905							
10. A	1,2934	42,6	15,9	43,7	29,87	34,4	18,6	14,65
T	3,0382							
11. A	1,5038	47,7	15,05	46,1	21,35	33,3	22,0	15,9
T	3,1518							
12. A	1,4583	44,0	15,5	47,5	34,73	33,5	20,9	14,75
T	3,3137							
13. A	0,8080	39,6	14,95	45,8	29,78	33,6	18,15	13,3
T	2,0490							
14. A	0,6992	36,0	15,94	48,6	21,77	34,15	17,5	12,3
T	1,9407							
15. A	2,0763	40,5	14,68	44,99	34,37	32,7	18,2	13,25
T	5,1278							
16. A	0,9066	37,3	15,76	48,2	26,35	33,5	18,0	12,5
T	2,4382							
17. A	1,3051	33,0	15,6	47,8	33,77	33,9	13,8	11,2
T	3,9563							
18. A	1,2316	40,7	15,75	48,2	31,52	35,0	19,6	14,25
T	3,0257							
ARITHM. MITTEL			45,82	ARITH. MIT.	33,08	19,63	13,66	

K. Literatur.

1. Krokowski, E. Fortschr.Röntgenstr. 91,1959,76
2. Krokowski, E. Fortschr.Röntgenstr. 91,1959,740
3. Krokowski, E., Steiner, R. Dtsch.med.Klinik 49,1961,2073
4. Oeser, H., Krokowski, E. Dtsch.med.Wsch.86,1961,2431
5. Balz, G., Birkner, R. Strahlentherapie 99,1956,221
6. Bartelheimer, H. Klin.Wschr.35,1957,429
7. Brandenberger, E., Schinz, H.R. Über die Natur der Verkalkungen bei Mensch und Tier, 1946,Basel
8. Bywaters, E.G.L. Clin.Sc. 6,1948,281
9. Dulce, J., Med.Mitt.Schering 22,2,1961,64
10. Einbrodt, H.J., Stöber, W., Hoppe-Seylers Zeitschr.f. Physiol.Chemie 322,1960,208
11. Engström, A. Acta radiol. 31,1949,483
12. Mc Farland, W. Science 119,1954,810
13. Fiske, C., Subbarow, Y. J.biol.Chemie 66,375,1925
14. Frey, K.W. Fortschr.Röntgenstr.87,1957,378
15. Frommhold, W. Fortschr.Röntgenstr.84,1956,719
16. Frommhold, W., Schoknecht, G. Fortschr.Röntgenstr. 93,1960,358
17. Fusi, G. Radiol.med.38,1952,261
18. Gershon-Cohen, J., Schraer, H., Blumberg, N. Radiology 65,1955,416
19. Györgyi, G., Bozóky, L. Fortschr.Röntgenstr.94,1961,667
20. Henny, G.C. Radiology 54,1950,202
21. Heuck, F., Schmidt, E. Fortschr.Röntgenstr.93,1960,523
22. Heuck, F., Schmidt, E. Fortschr.Röntgenstr.93,1961,761

23. Hodge, H.C., Warren, S.L. Amer.J Roentgenol. 34, 1936, 385
24. Hückel, W. Geest, Portig, Leipzig Org. u. Anorg. Chemie
1955
25. Jackson, H. Brit.J.Radiol. 24, 1951, 613
26. Keane, B.E., Spiegler, G., Davis, R. Brit.J.Radiol.
32, 1959, 162
27. Leuthardt, F. Walter de Gruyter Berlin, Physiol.Chemie
1955
28. Mach, P.B., Brown, W.N., Trapp, H.D. Amer.J. Polutgenol.
61, 1949, 808
29. Mainland, D. Ann.Rheumat.Dis. 15, 1956, 115
30. Reich, S.B. Amer.J.Roentgenol. 79, 1958, 705
31. Siegmund, P., Dulce, H.J. Z.Physiol.Chemie 320, 149, 1960
32. Stein, I. Amer.J.Roentgenol. 37, 1937, 678
33. Stegemann, M. Hoppe-Seylers Zeitschr.f.Physiol.Chemie
angew. n . 13, 18
34. Steven, G.D. Ann.Rheumat.Dis. 6, 1947, 184
35. Vehlinger, E. Schweiz.Med.Jahrbuch 1958
36. Virtama, P. Acta Anat. 31, 1957, Suppl.-Bd.29
37. Vogt, J.H. Acta.Med.Scand. 135, 1949, 221
38. Vose, G.P. Radiology 71, 1958, 96
39. Weiss, K. Radiol Austriaca 9, 1957, 227
40. Widenmann, L. Fortschr.Röntgenstr. 87, 1957, 386

I. Danksagung.

Für die mir gewährte Unterstützung und Förderung meiner Arbeit möchte ich an dieser Stelle ganz besonders Herrn Professor Dr. H. Oeser danken, sowie Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. E. Krokowski, Röntgendiagnostik und Therapie der Freien Universität Berlin.

Für die Hilfe bei den chemischen Analysen bin ich Herrn Priv. Doz. H. J. Dulce, Physiologisch-Chemisches Institut der Freien Universität Berlin - Direktor: Professor Dr. Dr. Schütte - zu grossem Dank verpflichtet.

Die Wirbelknochen gewann ich mit freundlicher Genehmigung von Herrn Professor Dr. Masshoff am Pathologischen Institut der Freien Universität Berlin.

M. Lebenslauf.

Am 7.5.1937 wurde ich, Peter Strug, als Sohn des
Werkmeisters Georg Strug und seiner Ehefrau Else,
geb. Höher, in Berlin-Haselhorst geboren.

Von meinem 6.-11. Lebensjahr besuchte ich die 13.
Grundschule in Haselhorst.

Anschließend ging ich auf das Kant - Gymnasium
zu Berlin - Spandau, wo ich 1956/57 das Abitur machte.

Im März 1957 wurde ich an der Freien Universität
Berlin immatrikuliert und bestand dort im Herbst 1959
das Physikum.

Die klinischen Semester absolvierte ich ebenfalls
an der Freien Universität Berlin, wo ich im
Winterhalbjahr 1962/63 das medizinische
Staatsexamen mit "Gut" bestand

Berlin, April 1963

